

報告

福井県勝山市九頭竜川上流地域の黒雲母斑晶に富む高カリウム玄武岩質転石 Biotite phenocryst-rich high-K basaltic boulder from upper stream of the Kuzuryu River in Katsuyama City, Fukui Prefecture

森下知晃* 町 澄秋**
ファン ミゲル グオターナ***
田村明弘***

*Tomoaki Morishita**, *Sumiaki Machi**,
*Juan Miguel Guotana*** and *Akihiro Tamura****

2018年2月27日受付.

2018年5月29日受理.

* 金沢大学理工研究域地球社会基盤学系
School of Geosciences and Civil Engineering, Kanazawa
University, Kakuma, Kanazawa, Ishikawa 920-1192, Japan

** 恐竜渓谷ふくい勝山ジオパーク推進協議会(勝山市 ジオパーク
まちづくり課)

Dino Valley Fukui Katsuyama Geopark Promotion Council
(Geopark Section, Katsuyama City Hall)

*** 金沢大学大学院自然科学研究科
Graduate School of Natural Science & Technology,
Kanazawa University, Kakuma, Kanazawa, Ishikawa 920-
1192, Japan

Corresponding author: T. Morishita,
tomo_make_a_wish@icloud.com

Abstract: Boulders of biotite-phenocryst-rich, high-K basaltic rock were discovered in the upper stream of the Kuzuryu River in Katsuyama City, Fukui Prefecture. The biotite phenocrysts are zoned, with pale brown cores and dark brown margins. Relics of mafic minerals, replaced by carbonate minerals, contain chromian spinel. Although the primary chemical composition is affected by the formation of secondary minerals such as carbonate, the SiO₂ and K₂O contents of the studied rock are 48–49 wt% and 3.6 wt%, respectively, which are within the chemical range of absarokite. Chondrite-normalized rare earth element and primitive-mantle-normalized trace element patterns of the studied volcanic rocks are characterized by high LREEs/HREEs, high concentrations of LILEs, and negative anomalies of HFSEs (Nb, Ti). These petrological and geochemical characteristics represent a primary composition that has never before been reported in the Hokuriku district.

Keywords: Biotite phenocryst-rich high-K basaltic rocks, Hokuriku, Katsuyama City

はじめに

恐竜渓谷ふくい勝山ジオパークのある福井県勝山市を流れる九頭竜川支流の河原から肉眼観察でも黒雲母斑晶を多く含むことがわかる特徴を持つ火山岩の転石が見つかった。転石が見つかった川の付近および上流地域では、濃飛流紋岩相当、中新世火山岩類相当、鮮新世～第四紀の火山岩類が分布している。そのため、本地域の河原の転石は、これらの地質帯由来の岩石とこれらの下位に相当する飛驒片麻岩類、花崗

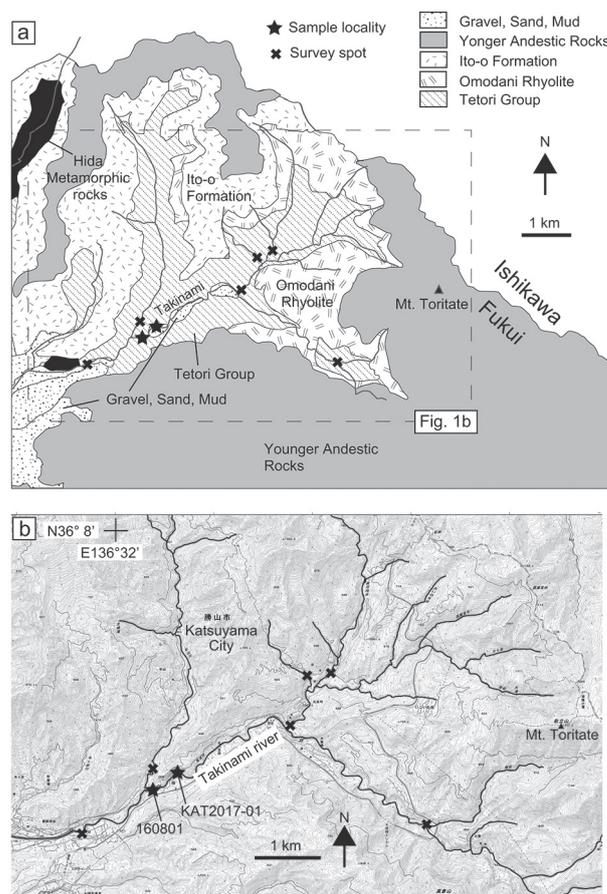


Fig. 1. (a) Locations of samples (stars) 160801 and KAT2017-01 in northern Katsuyama City, Fukui Prefecture. Base map is a simplified geological map after Miura et al. (1996) and Fukui Prefecture (2010). Survey areas where no biotite-phenocryst-rich volcanic rocks were found are shown as (X). (b) Sample locations on a 1:25,000 topographic map by the Geographical Survey Institute of Japan.



Fig. 2. Photographs of 160801 (a) and KAT2017-01 (b). Representative biotite phenocrysts are indicated by arrows.

岩類で構成されている。しかしながら、これまでこのような黒雲母斑晶を多く含む火山岩は報告されていない。黒雲母斑晶を多く含むということは、黒雲母の主成分であるカリウム成分に富む特異な火山岩(例えば, Peccerillo and Taylor, 1976; Foley et al., 1987)である可能性を意味し、その産状・分布と成因は、本地域の構造発達史, 地下構造を理解する上で重要な情報を与えてくれることが期待される(例えば, Morrison, 1980; Tatsumi and Koyaguchi, 1989; Stern et al., 1988; 石渡・大浜, 1997)。野外調査の結果, 露頭の発見には至らなかったが, 本稿では, この黒雲母に富む火山岩転石の記載岩石学的特徴と全岩化学組成データを報告する。

地質学的背景と野外調査結果

本研究では, 転石を採取した福井県勝山市を流れる九頭竜川支流の滝波川から上流地域を調査対象地とした(Fig. 1)。本地域は表層地質として下位から上位に向かい, ジュラ～白亜系の礫岩・砂岩・頁岩からなる手取層群, 白亜紀の流紋岩質火砕岩ないし溶岩を主とする面谷流紋岩, 主に安山岩質火砕岩類からなる新第三紀の糸生累層に対比される古期安山岩類, 第四紀の安山岩類(新期安山岩類)が分布している(三浦ほか, 1996; 棚瀬ほか, 2007) (Fig. 1a)。またこれらの地質帯の基盤には飛騨片麻岩類が分布していると考えられている(服部, 2013)。今回報告を行う黒雲母斑晶に富む火山岩転石は, 滝波川の河原2地点でそれぞれ1つずつ見つかった

(Fig. 1b)。この地点以外でも複数の河原(Fig. 1bのXで示した場所)で転石を注意深く観察したが, 類似する岩石を発見することができなかった。

記載岩石学的特徴

本火山岩は, 長径最大1.5 mmの黒雲母が肉眼観察でも多く含まれていることが特徴で, 暗褐色を呈する(Fig. 2)。転石試料はいずれも亜円礫で, 大きさは約15 cm×10 cm×7 cm(サンプル名: 160801), 約35 cm×25 cm×15 cm(サンプル名: KAT2017-01)である。KAT2017-01は, 主に炭酸塩鉱物によって充填されている不定形の空隙が5体積%以下程度観察される。各試料の薄片1枚ずつから, 0.5 mm間隔でモード測定を行い, それぞれの斑晶, 石基と後述する捕獲岩の体積率と, それぞれの黒雲母の体積率を測定した(Table 1)。黒雲母斑晶は捕獲岩を除いた体積を100%として7体積%程度である。黒雲母斑晶は偏光顕微鏡の単ニコル観察において中心部分の色が薄く, 周辺部分の色が濃い累帯構造を示す(Fig. 3)。不透明鉱物, 針状の燐灰石が色の濃い周辺部に選択的に伴っている(Figs. 3c, 3d)。その他の斑晶鉱物として, 炭酸塩鉱物に置換された仮像結晶が観察される(Fig. 3a, 3b, 3e)。この斑晶仮像中には, 自形から半自形の赤褐色を呈するクロムスピネルが包有されている(Figs. 3e, 3f)。この仮像斑晶はその外形とクロムスピネルを包有していることから, カンラン石であった可能性が高く, 3–8体積%程度含まれている。斑晶の全体量は10–16体積%である。石基部分は完晶質で, 捕獲岩を除いた体積を100%とした場合, 84–90体積%を占める。斑晶の褐色周辺部と同等の褐色黒雲母(石基のみの体積を100%として, 12–13体積%), 針状の燐灰石, 不透明鉱物, 斜長石(もしくはアルカリ長石)が観察される(Figs. 3g, 3h)。石基の一部も炭酸塩鉱物に置換されている。しばしば, 全体の大きさとして5 mm程度の半深成岩組織を呈する捕獲岩が岩石全体の4–7体積%程度観察される(Fig. 4)。この捕獲岩は, 薄い褐色を呈する針状の黒雲母(捕獲岩のみの体積を100%として, 22–24体積%), 斜長石(もしくはアルカリ長石), 塩基性鉱物仮像(炭酸塩に置換されている), 少量の不透明鉱物で構成されている。捕獲岩中の塩基性鉱物仮像と思われるものの中には, 骸晶状の外形を示すものが観察される(Figs. 4c, 4d)。

全岩化学組成

全岩主要元素組成を, 金沢大学設置の蛍光X線分析装置(RIGAKU ZSX Primus II)を使用して測定した。分析方法はKusano et al. (2014)に従い, 下記に示す強熱減量を測定した後の岩石粉末試料0.4 g, 四ホウ酸リチウム4 gの希釈ガラスビードを用いた方法で行った。蛍光X線分析はRh対陰管球を使用し, 管電圧・管電流をそれぞれ50 kV・50 mVとした。岩石の強熱減量(LOI)の測定は, Kusano et al. (2014)の方法に従い, 試料約3 gをマッフル炉で900°Cで約4時間加熱し, 加熱前と加熱後の減量として求めた。全岩微量元素組成は, Tamura et al. (2015)の手法に従い岩

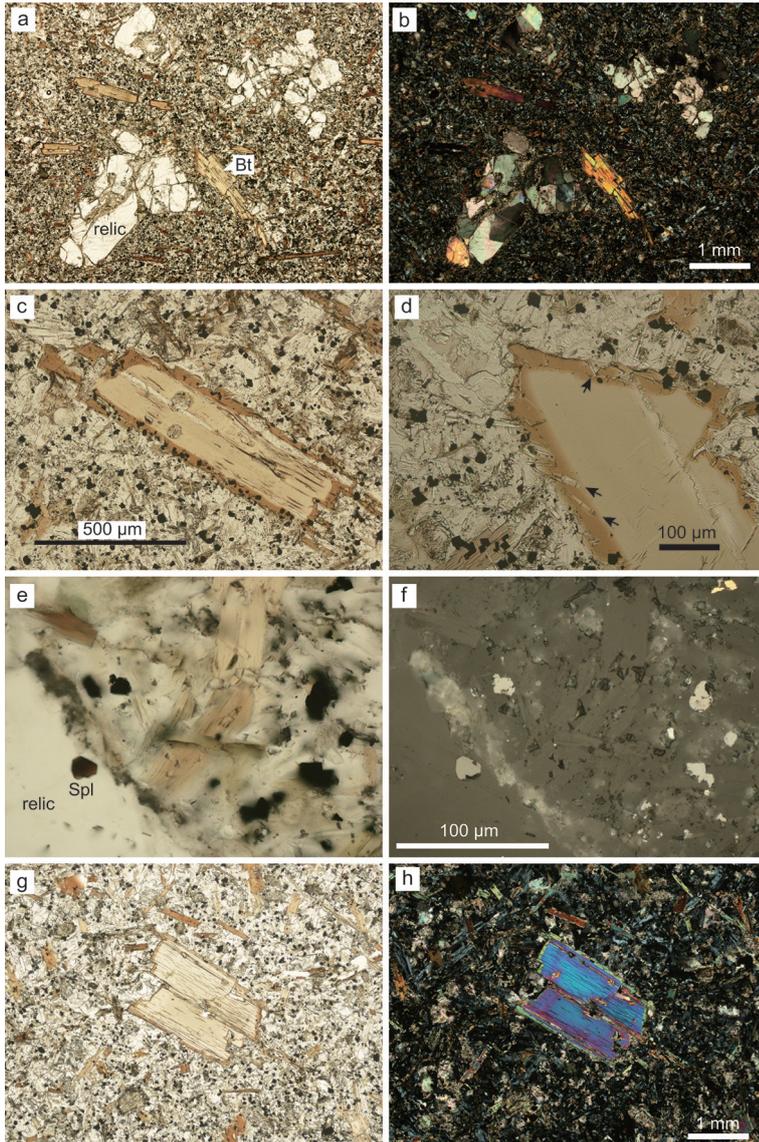


Fig. 3. Optical photomicrograph of biotite-phenocryst-rich volcanic rocks. (a) Typical example of biotite (Bt) phenocryst and relics of mafic mineral phenocrysts replaced by carbonate minerals. Plane-polarized light. (b) Cross-polarized light image of (a). (c) Zoned biotite phenocryst showing a pale brown core and a dark brown margin with many opaque (black) mineral inclusions. Plane-polarized light. (d) Close-up image of a biotite phenocryst margin containing inclusions of acicular apatite (arrows) and opaque minerals (black). Plane-polarized light. (e) Chromian spinel (spl) inclusions in a mafic mineral relic (relic). Plane-polarized light. (f) Reflected light image of (e). Note the differences in reflectivity between chromian spinel and opaque minerals. (g) Typical example of a biotite phenocryst in a groundmass consisting of fine-grained biotite, apatite, feldspar, and opaque minerals. Plane-polarized light. (h) Cross-polarized light image of (g).

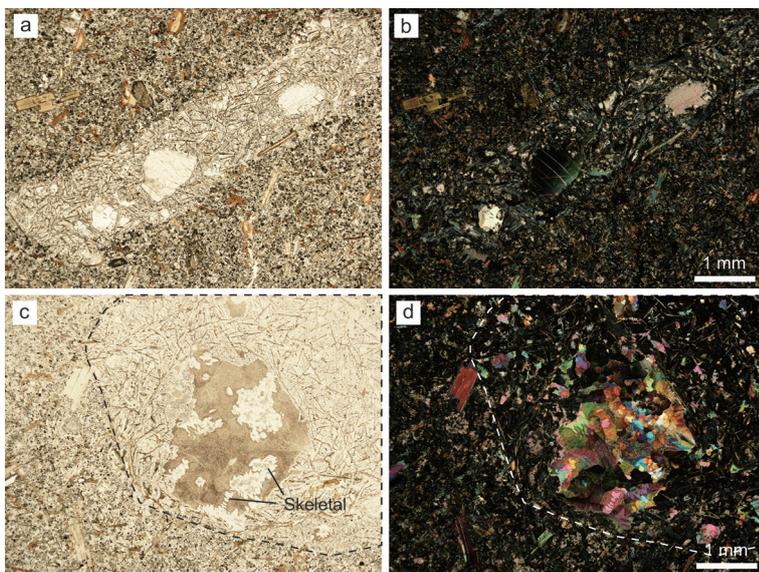


Fig. 4. Optical photomicrographs of "micro-xenoliths" in the studied biotite-phenocryst-rich volcanic rocks. (a) Elongate micro-xenolith. Plane-polarized light. (b) Cross-polarized light image of (a). (c) Micro-xenolith, outlined by the dashed line, containing the skeletal shape of a mafic mineral relic (Skeletal) replaced by carbonate minerals. Plane-polarized light. (d) Cross-polarized light image of (c).

Table 1. Modal amounts of phenocryst, groundmass, and xenolith, and their biotite modes.

| Sample | 160801 | | KAT2017-01 | |
|-----------------|---------|-----------|------------|-----------|
| All | Volume% | | Volume% | |
| Phenocryst | 10 | | 15 | |
| Groundmass | 86 | | 79 | |
| Xenolith | 4 | | 7 | |
| P & G | Volume% | Biotite % | Volume% | Biotite % |
| Phenocryst | 10 | 7 | 16 | 7 |
| Groundmass | 90 | 13 | 84 | 12 |
| | Volume% | Biotite % | Volume% | Biotite % |
| Phenocryst only | 100 | 67 | 100 | 44 |
| Groundmass only | 100 | 15 | 100 | 15 |
| Xenolith only | 100 | 18 | 100 | 12 |

P & G = phenocryst and groundmass

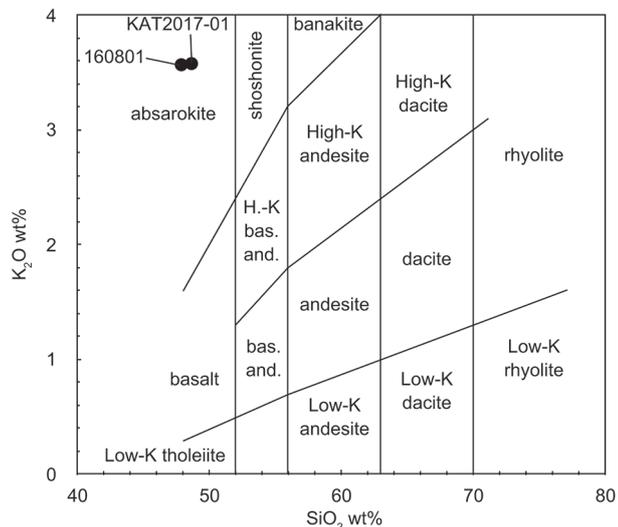


Fig. 5. Whole-rock K₂O versus SiO₂ diagram for the biotite-phenocryst-rich volcanic rocks. The whole-rock compositions were normalized to 100% volatile-free concentrations before plotting. Nomenclature for high-K volcanic rocks is after Peccerillo and Taylor (1976). H.-K bas. and. = high-K basaltic andesite; bas. and. = basaltic andesite.

Table 2. Whole-rock major and trace element compositions of the biotite-phenocryst-rich volcanic rocks from Katsuyama City.

| | 160801 | KAT2017-01 |
|------------------------------------|--------|------------|
| (wt%) | | |
| SiO ₂ | 47.0 | 48.0 |
| TiO ₂ | 1.9 | 1.8 |
| Al ₂ O ₃ | 12.9 | 12.6 |
| Fe ₂ O ₃ * | 11.2 | 10.3 |
| MnO | 0.2 | 0.1 |
| MgO | 6.9 | 7.7 |
| CaO | 11.4 | 11.4 |
| Na ₂ O | 2.3 | 2.2 |
| K ₂ O | 3.5 | 3.5 |
| P ₂ O ₅ | 1.1 | 1.1 |
| SUM | 98.4 | 98.7 |
| LOI | 10.3 | 10.4 |
| K ₂ O/Na ₂ O | 1.6 | 1.6 |
| (ppm) | | |
| Li | 42 | 46 |
| B | 4.0 | 3.1 |
| Sc | 30 | 31 |
| Ti | 11,058 | 10,781 |
| V | 305 | 293 |
| Cr | 417 | 295 |
| Co | 37 | 35 |
| Ni | 101 | 92 |
| Rb | 115 | 101 |
| Sr | 1391 | 1361 |
| Y | 28 | 27 |
| Zr | 295 | 282 |
| Nb | 8.8 | 8.4 |
| Cs | 1.8 | 0.9 |
| Ba | 1789 | 1817 |
| La | 40 | 38 |
| Ce | 92 | 88 |
| Pr | 11 | 11 |
| Nd | 49 | 48 |
| Sm | 11 | 11 |
| Eu | 3.4 | 3.2 |
| Gd | 9.3 | 9.0 |
| Tb | 1.2 | 1.1 |
| Dy | 6.1 | 5.9 |
| Ho | 1.0 | 1.0 |
| Er | 2.6 | 2.5 |
| Tm | 0.33 | 0.31 |
| Yb | 2.0 | 2.0 |
| Lu | 0.29 | 0.28 |
| Hf | 7.6 | 7.3 |
| Ta | 0.47 | 0.46 |
| Th | 6.1 | 5.8 |

Fe₂O₃* = total iron, LOI = loss on ignition.

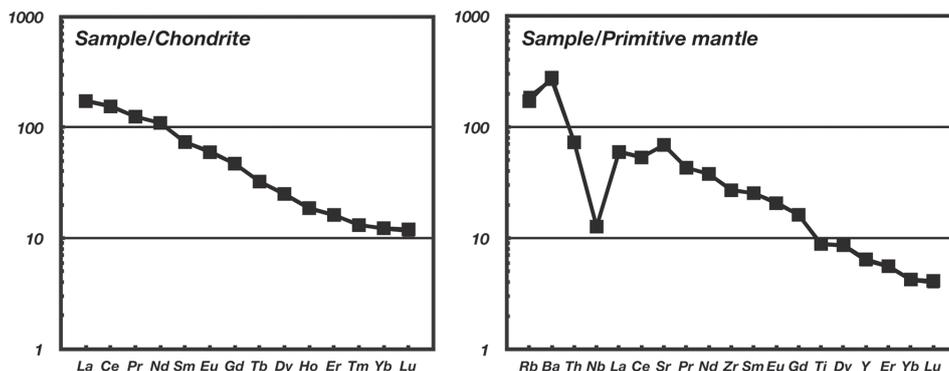


Fig. 6. Chondrite-normalized rare earth element patterns and primitive-mantle-normalized trace element patterns of the biotite-phenocryst-rich volcanic rocks from Katsuyama City, Japan. The chondrite and primitive mantle concentrations are from McDonough and Sun (1995).

石試料から全溶解ガラスを作成し、金沢大学部設置のレーザー照射誘導結合プラズマ質量分析装置を使用して測定した。レーザーには 193 nm ArF excimer laser (GeoLas Q+) を、ICP-MS は四重極型 (Agilent7500s) を使用した。全溶解ガラスは強熱減量処理を行う前の岩石粉末試料約 20 mg をイリジウムヒーター上で溶解させ、急冷によって作成した。岩石の主要・微量元素組成は Table 2 に示した。

岩石の強熱減量は 10 wt% に達する。強熱減量を除き、主要元素組成を 100% とした全岩化学組成では、SiO₂ 含有量が 48–49 wt% で K₂O 含有量は 3.6 wt%、K₂O/Na₂O (重量比) は 1.6 である。全岩化学組成の SiO₂ wt%–K₂O wt% の関係による Peccerillo and Taylor (1976) の高カリウム火山岩の分類に従うと本岩石の化学組成はアブサロカイトの領域にプロットされる (Fig. 5)。MgO、Fe₂O₃ 含有量は塩基性鉱物斑晶が炭酸塩鉱物に置換されているため組成の改変を受けているが、それぞれ 7–8 wt%、10–11 wt% である。

コンドライト値で規格化した希土類元素 (REE) の全岩化学組成パターンは軽希土類に富む左上がりのパターンを示す (Fig. 6)。原始的マントル値で規格化した微量元素パターンは、Large-Ion-Lithophile 元素に富み、High Field Strength 元素 (Nb, Ti) の負の異常を示す (Fig. 6)。

最 後 に

本岩石は炭酸塩鉱物の形成によって主要・微量化学組成とも変化しているが、その変化を考慮しても、クロムスピネルを包有する斑晶 (レリク) を伴うことなどからも、黒雲母斑晶および石基に富む高カリウム玄武岩質火山岩である (Figs. 2, 3)。

北陸地域におけるカリウムに富む火山岩類は、石渡・大浜 (1997) によって北陸地域に広く露出する第三紀の火山岩類中の岩脈として報告されている。本研究岩石と比較すると、本岩石中には黒雲母斑晶が多いことから石渡・大浜 (1997) らの岩石とは異なる特徴を示す。

カリウムに富み黒雲母 (金雲母) 斑晶を多く含む岩石は、島根県川本地域 (永尾ほか, 1986)、中国山地世羅台地 (永尾・藤林, 1989) から報告されている。今後、これらの岩石類と比較し、本岩石の成因、その成因を考慮した地史解明を議論するためにも、露頭の発見と周囲の地質帯との関係を明らかにしたい。

謝 辞

本研究は平成 29 年度勝山市ジオパーク学術研究等奨励事業として行った結果の一部をもとにまとめたものである。本研究の一部に金沢大学先魁プロジェクト 2018 の助成を受けた。金沢大学の海野進教授には XRF 分析の際にお世話になった。査読者の高知大学・川畑博博士、編集委員の山口大学・大和田正明教授からは本稿を改善する上で有意義な助言をしていただいた。これらの方々には厚く御礼申し上げる。

文 献

Foley, S. F., Venturelli, G., Green, D. H. and Toscani, L., 1987,

The ultrapotassic rocks : characteristics, classification, and constraints for petrogenetic models. *Earth-Sci. Rev.*, **24**, 81–134.

福井県 (Fukui Prefecture), 2010, 福井県地質図及び同説明書 (2010 年版) (*Geology of Fukui Prefecture and its Explanation*)*. 福井県建設技術公社 (Fukui Prefecture Public Corporation of Construction Technology), 173p.

服部 勇 (Hattori, I.), 2013, 福井県内のいくつかの地域の地質 その 3 : 池田町北部地域, 福井市小和清水–芦見地域, 福井市東侯一大野市上丁地域 (Geology of a few areas in Fukui Prefecture III: northern area of Ikeda-Cho, area of Kowashozu-Ashimi of Fukui City, and area of Higashimata, Fukui City-Kamiyoro, Ohono City). 福井大学地域環境研究教育センター研究紀要「日本海地域の自然と環境」(*Res. Rep. Fukui Res. Edu. Center Region. Enviro.*)*, **20**, 1–12.

石渡 明・大浜 啓 (Ishiwatari, A., Ohama, H.), 1997, 北陸地方の中新統岩稜層中の単斜輝石玄武岩脈 : ショショナイト系列を含む多様な陸弧マグマと単斜輝石斑晶の成因 (Clinopyroxene basalt dikes in the Miocene Iwaine Formation, Hokuriku Province, Japan: various continental arc magmas including shoshonite series and origin of the clinopyroxene phenocryst). *地質雑 (Jour. Geol. Soc. Japan)*, **103**, 565–578.

Kusano, Y., Umino, S., Kobayashi, J., Mizukami, T., Okuno, M. and Arai, S., 2014, Quantitative analysis of major elements in igneous rocks with X-ray fluorescence spectrometer “ZSX primus II” using a 1: 10 dilution glass bead. *Sci. Rep. Kanazawa Univ.*, **58**, 31–44.

三浦 静・服部 勇・東 洋一 (Miura, S., Hattori, I. and Azuma, Y.), 1996, 表層地質図 : pp 18-29, 福井県 (編) (*Surface Geology, Fukui Prefecture*), 土地分類基本調査 越前勝山・白山 (Basic Investigation of Land Classification)*.

McDonough, M. F. and Sun, S.-s., 1995, The composition of the Earth. *Chem. Geol.*, **120**, 223–253.

Morrison, G. W., 1980, Characteristics and tectonic setting of the shoshonite rock association. *Lithos*, **13**, 97–108.

永尾隆志・藤林紀枝 (Nagao, T. and Fujibayashi, N.), 1989, 中国山地, 世羅台地の K に富むランプロファイヤー (Highly potassic lamprophyre from the Sera Plateau in the Chugoku Mountains, SW Japan). *岩鉱 (Jour. Min. Pet. Econ. Geol.)*, **84**, 270–277.

永尾隆志・松本 徹夫・松田高明・飯泉 滋・小田 基明 (Nagao, T., Matsumoto, T., Matsuda, T., Iizumi, S. and Oda, M.), 1986, 島根県川本地域の新生代ミネット (Cenozoic minette from Kawamoto district, Shimane Prefecture, Southwest Japan). *岩鉱 (Jour. Japan Assoc. Min. Pet. Econ. Geol.)*, **81**, 423–426.

Peccerillo, A., Taylor, S. R., 1976, Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **58**, 63–81.

Stern, R. J., Bloomer, S. H., Lin, P.-N., Ito, E. and Morris, J., 1988, Shoshonitic magmas in nascent arcs: new evidence from submarine volcanoes in the northern Marianas. *Geology*, **16**, 426–430.

棚瀬 充史・及川輝樹・二ノ宮 淳・林信太郎・梅田浩司 (Tanase, A., Oikawa, T., Ninomiya, A., Umeda, K.), 2007, K-Ar 年代測定に基づく両白山地の鮮新–更新世火山活動の時空分布 (Temporal-spatial variations of Plio-Pleistocene volcanic activity in the Ryohaku Mountains, central Japan: evidences from K-Ar ages). *火山 (Bull. Vol. Soc. Japan)*, **52**, 39–61.

Tamura, A., Akizawa, N., Otsuka, R., Kanayama, K., Python, M., Morishita, T. and Arai, S., 2015, Measurement of whole-rock trace-element composition by flux-free fused glass and LA-ICP-MS: evaluation of simple and rapid routine work. *Geochem. Jour.*, **49**, 243–258.

Tatsumi, Y. and Koyaguchi, T., 1989, An absarokite form a phlogopite lherzolite source. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **102**, 34–40.

* English translation from the original written in Japanese.

(著者プロフィール)

森下知晃 金沢大学理工研究域地球社会基盤学系教授。93年 金沢大学理学部卒、99年 金沢大学大学院自然科学研究科博士後期課程修了(博士(理学))、99年 日本学術振興会特別研究員、01年 金沢大学理学部助教、07年 金沢大学フロンティアサイエンス機構特任准教授、12年から現職。研究内容：地球深部起源物質科学。本研究では、地質調査・総括・原稿執筆を担当。E-mail：tomo_make_a_wish@icloud.com.

町 澄秋 恐竜渓谷ふくい勝山ジオパーク推進協議会専門員。06年 金沢大学理学部卒、12年 金沢大学大学院自然科学研究科博士後期課程修了(博士(理学))、12年 金沢大学自然科学研究科博士研究員、14年 東北大学東北アジア研究センター特任助教、16年から現職。研究内容：ジオパーク・地域地質・岩石学。本研究では、本岩石の最初の発見者、地質調査・原稿執筆を担当。E-mail：s-machi@city.katsuyama.lg.jp.

ファン ミゲル グオターナ 金沢大学大学院自然科学研究科博士後期学生。12年 アダムソン大学卒、17年 フィリピン大学修士課程修了、17年から現所属。研究内容：岩石学・テクトニクス。本研究では、地質調査・化学分析を担当。E-mail：jmguotana@gmail.com.

田村明弘 金沢大学理工学研究域自然システム学系博士研究員。97年 金沢大学理学部卒、04年 金沢大学大学院自然科学研究科博士後期課程修了(博士(理学))、04年から現職。研究内容：上部マントル岩石学。本研究では、化学分析を担当。E-mail：aking826@staff.kanazawa-u.ac.jp.

科学論文では、学説の検証可能性を保証することが重要です。そのため、地質学雑誌掲載論文には、重要な証拠となった試料がどこで得られたかを示しているものがあります。言うまでもないことですが、見学や採取を行う場合、各自の責任において地権者や関係官庁への連絡と許可の取得の必要があることにご注意下さい。詳しくは、以下のサイトをご覧ください。

<http://www.geosociety.jp/publication/content0073.html>

一般社団法人日本地質学会